

## 반복온도하중이 교량상 궤도에 미치는 영향

## Effect of Cyclic Temperature Loads on the track on the bridge

김종중\*, 윤경민\*\*, 최진유\*\*\*, 신정상\*\*\*\*, 임남형\*\*†

Jong-Jung Kim\*, Kyung-Min Yun\*\*, Jeong-Sang Shin\*, Nam-Hyoung Lim\*\*†

**Abstract** In case of the continuous welded rail(CWR) track is supported by the railway bridge, the additional axial force is occurred in the CWR due to the track-bridge interaction. And the strength criteria for checking follows design code (KR C-08080). KR code has temperature and vehicle loads consider when analyzing the track-bridge interaction, and each load apply its maximum magnitude. This analysis method may ignores the characteristics of continuous variation of temperature and repeated vehicle loads, and there is also the possibility of hysteresis track behavior due to the elasto-plastic behavior of the longitudinal ballast resistance. In this paper, track-bridge interaction characteristics due to cyclic temperature loads are investigated using by the FE analysis.

**Keywords** : Track-Bridge interaction, CWR, Loading history, Repeated temperature loading, Additional axial force

**초 록** 교량상 장대레일이 부설 시 궤도-교량 종방향 상호작용에 의하여 부가축력이 발생한다. 이에 대한 강도한계의 검토를 위하여 KR C-08080 설계기준을 따른다. KR code에서 궤도-교량 상호작용 해석 시 온도하중과 차량하중을 고려하도록 하고 있으며, 각 하중의 극댓값을 적용하도록 되어있다. 이것은 지속적으로 작용하는 온도의 변동성, 반복주행을 고려하지 못한 해석으로, 도상의 탄소성 거동으로 인한 이력효과가 발생 할 수 있다. 이에 본 논문에서는 유한요소 해석을 통한 궤도-교량 상호작용 해석 시 반복온도하중을 고려함에 따른 영향을 살펴보았다.

**주요어** : 궤도-교량 상호작용, 장대레일, 하중이력, 반복온도하중, 부가축력

## 1. 서 론

교량상에 설치되는 장대레일 궤도는 궤도와 교량간의 상호작용에 의해 레일에 발생하는 축력분포가 토노반상 장대레일에 비해 매우 복잡하며, 교량에 가해지는 추가 하중에 의해 장대레일에 부가축력이 발생해 궤도와 구조물의 상호작용에 의한 추가 문제를 야기한다. 이와 같은 문제점을 예방하기 위하여 KR C-08080[1]에서 궤도-교량 종방향 상호작용 검토 방법을 제시하고 있다. 설계기준에서 교량상 궤도의 강도한계(Strength limit state)를 평가 시 온도하중, 차량의 시·제동하중, 열차수직하중을 고려하며, 각각의 하중의 극댓값을 고려하고 있다

† 교신저자: 충남대학교 공과대학 토목공학과(nhrim@cnu.ac.kr)

\* 한국철도공사 대전충남본부 시설처, \*\* 충남대학교 공과대학 토목공학과

\*\*\* 한국철도기술연구원 기술전략실, \*\*\*\* 한국철도공사 시설기술단

이것은 지속적으로 작용하는 온도의 변동성, 차량의 반복주행 등을 고려하지 못한 해석이다. 이에 본 논문에서는 궤도-교량 상호작용 시 온도하중의 극댓값을 고려한 경우와 온도의 변동을 고려한 경우의 거동 차이점을 밝히고, 이로 인해 발생 가능한 문제점을 제안하였다.

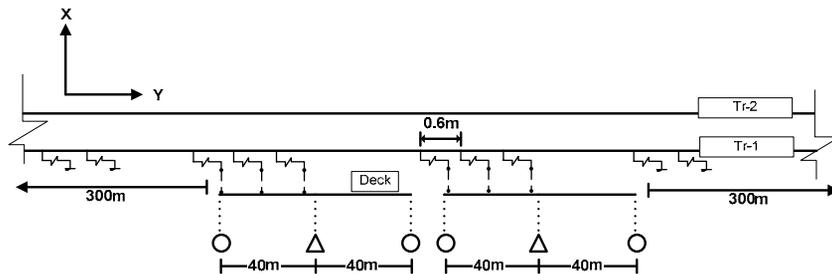
## 2. 반복하중을 고려한 해석 방법

### 2.1 해석 모델

궤도-교량 상호작용 해석을 위하여 범용유한요소해석 프로그램(ADINA)[2]을 이용하였다. 신축이음부 없는 장대레일 궤도를 묘사하기 위하여 토노반상 궤도는 교량 시중점 교대부로부터 300m까지 모델링하였으며, PSC Box Girder 상판위에 자갈궤도가 부설된 4경간  $2 \times 40m + 2 \times 40m$ 의 복선교량을 모델링하였다. 해석에 사용한 물성치와 교량의 개략적인 형태는 각각 Table 1과 Fig. 1과 같으며, 도상의 종저항력은 설계기준[1]에서 일반적으로 사용하는 값을 사용하였다.[3]

**Table 1** Material and geometric properties of the model

Member	Cross-sectional area(m <sup>2</sup> )	Young's modulus (N/m <sup>2</sup> )	Thermal coefficient (/°C)	Moment of Inertia (m <sup>4</sup> )	Depth (m)
Rail(UIC60)	0.015372	2.1x10 <sup>11</sup>	1.2 x10 <sup>-5</sup>	3.05510 <sup>-5</sup>	-
Deck	12.84	3.1 x10 <sup>10</sup>	1.0 x10 <sup>-5</sup>	20.3	3.63



**Fig. 1** Model of the ballast track on the bridge

궤도-교량상 상호작용에 의한 영향력을 분석하기 위해 레일은 거더의 상면과 동일한 높이에 위치시키고, Constraint 방정식과 강체요소(Rigid link)로 각각 모델화시켰다. (Fig.2 (a)) 레일은 종방향 거동만을 고려하여 2node 1element 의 Truss 요소를 사용하였으며, 자갈 도상을 고려 시 잔류변형을 묘사 할 수 있는 2node 1element 의 Truss 요소를 사용하였으며 Bilinear- kinematic hardening curve(Fig. 2 (b))를 사용하였다. 교량상부구조물은 2 node beam element 를 사용하였고, 종방향력, 수직력, 회전력을 고려하였다.

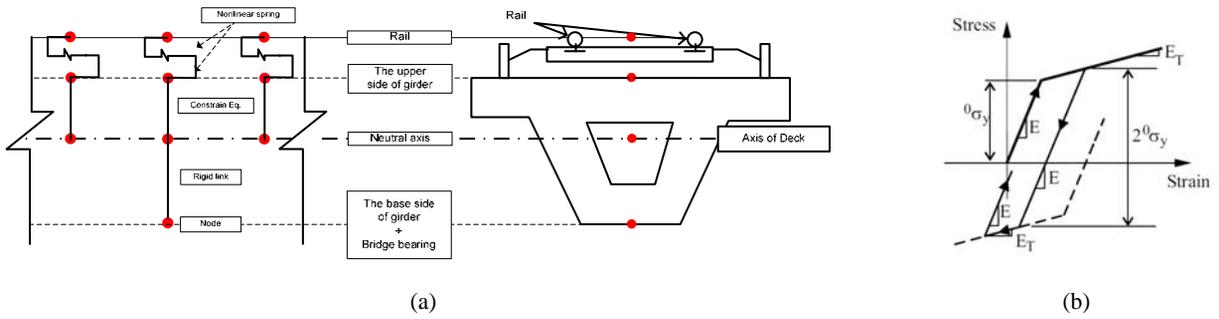


Fig. 2 Model of the track-deck-bearing system(a), Bilinear kinematic hardening(b)[2]

## 2.2 해석방법[3]

궤도-교량 상호작용 해석 시 고려되는 온도, 차량하중은 설계를 위한 극값만을 적용하고 있다. 그러나 실제 구조물의 경우 지속적으로 변화되는 온도에 의한 영향을 받으며, 따라서 반복온도하중에 의한 영향을 살펴볼 필요가 있다.

온도하중이 기존 설계기준과 같이 극값(The maximum temperature loading)으로 고려된 경우와 반복온도하중(Repeated Temperature load)을 고려할 경우를 비교하기 위하여 다음과 같은 하중경우를 선정하여 하중 재하 방식에 따른 차이를 살펴보았다.

- CASE 1 : 0°C → -10°C
- CASE 2 : 0°C → 10°C → -10°C
- CASE 3 : 0°C → 25°C → -10°C

## 3. 반복하중을 고려한 해석 결과

CASE 1~3 을 통하여 동일한 하중에서 단순하중재하와 반복하중재하 시에 따른 차이를 살펴보았다. Fig. 3 은 온도 하중 재하 방식에 동일한 온도하중(-10°C)에서 상이하게 발생하는 레일의 부가축응력선도를 나타낸다.

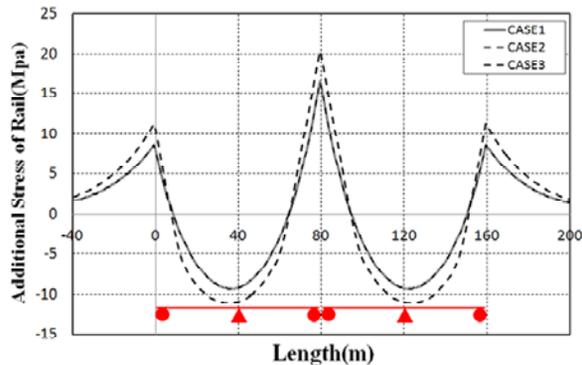
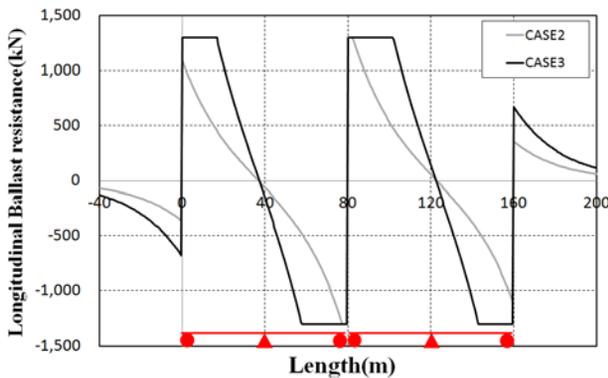


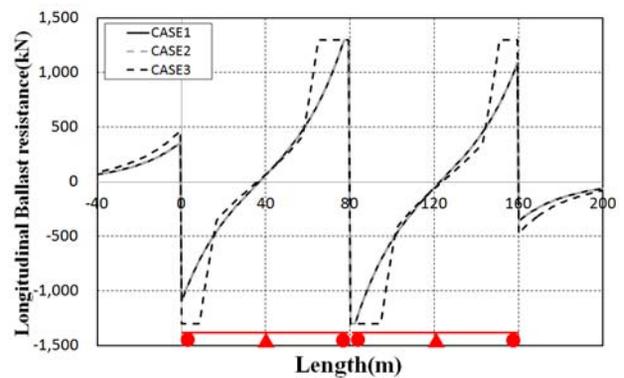
Fig. 3 Additional rail axial stress (CASE 1, 2, 3)

동일한 -10°C의 온도하중 재하 상태에서 응력선도 비교 시 CASE1 과 CASE2 의 선도는 교량 전 구간에서 걸쳐 유사한 값을 보였으며, CASE3 은 CASE1, 2 와 비교하여 80m 지점에서 약

23% 큰 인장응력이 발생하였으며, 122.46m 지점에서 약 19% 큰 압축응력이 발생하였다. 동일한 온도하중에서 재하 방법에 따라 상이한 결과가 도출되었으며, 원인 분석을 위하여 자갈도상의 저항력을 살펴보았다. Fig. 3 은 최초 하중 재하 시(CASE2 : 10℃, CASE 3 : 25℃) 도상의 저항력을 나타내며, Fig. 4 는 최종 온도 재하 시((CASE2 :-10℃, CASE3 : -10℃) 도상의 저항력을 나타낸다.



**Fig. 3** State of longitudinal resistance according to loading method (CASE2:10℃, CASE3:25℃)



**Fig. 4** State of longitudinal resistance according to loading method (CASE2, CASE3: -10℃)

최초 하중 재하 시 CASE2(10℃)의 경우 소성구간이 나타나기 시작하는 단계로, 도상저항력이 대부분 탄성구간 내에 존재한다. CASE3(25℃)의 경우 넓은 구간에서 소성영역이 나타났다.(Fig. 3) 이후 하중을 -10℃로 재하 시 동일한 하중에서 도상저항의 차이가 발생하는 것을 볼 수 있었으며, 소성구간이 나타나지 않는 온도변화( $\Delta 10^{\circ}\text{C}$ )에서 하중재하 방법에 따라 소성구간이 나타나는 것을 확인하였다.(Fig. 4) 따라서 반복온도에 의해 동일한 하중에서 도상의 저항상태는 바뀔 수 있으며, 그에 따라 레일에 발생하는 부가 응력 또한 상이하게 나타난 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 범용유한요소 프로그램 ADINA 8.9.0 을 이용하여 궤도-교량 상호작용 해석 시 극댓값을 이용한 하중재하 방식과 반복하중재하에 따른 차이점을 분석하였다.

기존의 극댓값을 이용한 하중재하방식과 반복온도하중재하 시 동일한 온도하중에서 레일의 부가응력 등 상이한 결과가 도출될 수 있음을 확인하였다. 따라서 궤도-교량 상호작용 해석 시 실제 현상을 반영한 반복온도하중을 고려할 필요가 있다

#### 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0022755)

## 참고문헌

- [1] KR (2012), KR C-08080 : Track-bridge longitudinal interaction analysis
- [2] ADINA(2010), Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis, ADINA R&D
- [3] J.J. Kim (2013) Track-Bridge Interaction Characteristics due to Cycle Loads, master's Thesis, Chungnam National University